

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 12 月 9 日 (09.12.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/107567 A1

- (51) 国際特許分類: H03G 3/26
 (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/006761
 (22) 国際出願日: 2003 年 5 月 29 日 (29.05.2003)
 (25) 国際出願の言語: 日本語
 (26) 国際公開の言語: 日本語
 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
 (72) 発明者; および
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 水間 将支

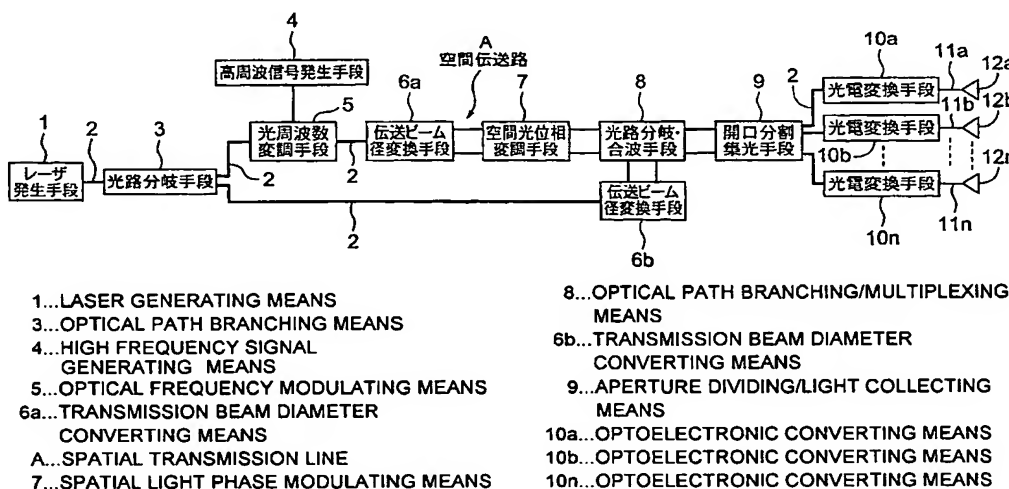
(MIZUMA, Masashi) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 安藤 俊行 (ANDO, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 秋山 智浩 (AKIYAMA, Tomohiro) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 平野 嘉仁 (HIRANO, Yoshihito) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 曾我 道照, 外 (SOGA, Michiteru et al.); 〒100-0005 東京都千代田区丸の内三丁目 1 番 1 号 国際ビルディング 8 階 曾我特許事務所 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL CONTROL PHASED ARRAY ANTENNA

(54) 発明の名称: 光制御型フェーズドアレーアンテナ装置



(57) Abstract: An optical control phased array antenna comprising a laser generating means for generating light of single wavelength, an optical path branching means for branching the light emitted from the laser generating means into first and second transmission lights, a high frequency signal generating means, an optical frequency modulating means for shifting the frequency of the first transmission light branched through the optical path branching means by the frequency of a high frequency signal thus generated, a spatial light phase modulating means performing spatial phase modulation of the first transmission light shifted by the frequency of a high frequency signal depending on the antenna beam pattern, and an optical path branching/multiplexing means for multiplexing the first transmission light subjected to phase modulation and the second transmission light branched by the optical path branching means. Optical path lengths of two paths between the optical path branching means and the optical path branching/multiplexing means are equalized.

(57) 要約: 単一波長光を発生するレーザ発生手段と、前記レーザ発生手段からの出射光を第 1 及び第 2 の伝送光に分岐する光路分岐手段と、高周波信号を発生する高周波信号発生手段と、前記光路分岐手段により分岐された第 1 の伝送光の周波数を前記発生された高周波信号の周波数だけシフトする光周波数変調手段と、前記高周波信号の周波数だけシフトされた第 1 の伝送光に対してアンテナビームパターンに応じた空間的な位相変調を行う空間光位相変調手段と、前記位相変調された第 1 の伝送光と前記光路分岐手段により分岐された第 2

[続葉有]



(81) 指定国 (国内): JP, US.

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光制御型フェーズドアレーアンテナ装置

技術分野

この発明は、位相雑音や相対強度雑音を抑圧した光制御型フェーズドアレーアンテナ（PAA：Phased Array Antenna）装置に関するものである。

背景技術

従来の光制御型フェーズドアレーアンテナ装置は、入力されるフェーズドアレーアンテナのビーム方向に対応した1個の電気信号を出力する信号発生手段と、第2の分配手段から出力される複数の第1の光信号を、上記電気信号に対応し互いに異なる各位相量だけそれぞれ移相させる複数の移相手段を備え、回路を簡単化し小型・軽量化することができ、これによって当該回路を含むフェーズドアレーアンテナ全体を小型・軽量化することができる（例えば、特開平3-57305号公報（第9頁、第1図）参照）。

しかしながら、上述した従来の光制御型フェーズドアレーアンテナ装置では、光源自体の位相雑音及び相対強度雑音を抑圧するような対策を施していないという問題点があった。

この発明は、前述した問題点を解決するためになされたもので、光源自体の位相ゆらぎにより発生する位相雑音、伝送手段として空間伝送路を用いた場合、空間の温度変動等の擾乱（じょうらん）により大気屈折率が変化し、光路長が変化するために生じる位相雑音、ビーム走査方向変更により生じる位相雑音や、光源の相対強度雑音を抑圧することができる光制御型フェーズドアレーアンテナ装置を得ることを目的とする。

発明の開示

この発明に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置は、単一波長光を発生するレーザ発生手段と、前記レーザ発生手段からの出射光を第1及び第2の伝送

光に分岐する光路分岐手段と、高周波信号を発生する高周波信号発生手段と、前記光路分岐手段により分岐された第 1 の伝送光の周波数を前記発生された高周波信号の周波数だけシフトする光周波数変調手段と、前記高周波信号の周波数だけシフトされた第 1 の伝送光に対してアンテナビームパターンに応じた空間的な位相変調を行う空間光位相変調手段と、前記位相変調された第 1 の伝送光と前記光路分岐手段により分岐された第 2 の伝送光を合波する光路分岐・合波手段とを設けた。

さらに、前記光路分岐・合波手段により合波された伝送光を複数に分割する開口分割集光手段と、前記複数の伝送光の光強度を、それぞれ電気信号に変換する複数の光電変換手段と、前記複数の光電変換手段からの電気信号を、それぞれビームとして放射する複数の素子アンテナとを設けた。

そして、前記光路分岐手段と前記光路分岐・合波手段の間の 2 つの経路の光路長を等しくしたものである。

図面の簡単な説明

図 1 はこの発明の実施例 1 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の構成を示すブロック図、

図 2 はこの発明の実施例 1 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の実験系の構成を示すブロック図、

図 3 はこの発明の実施例 1 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の実験系の光路長調整前と調整後の出力スペクトルを示す図、

図 4 はこの発明の実施例 2 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の構成を示すブロック図、

図 5 はこの発明の実施例 2 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の位相誤差検出手段における位相差と出力電圧の関係を示す特性図、

図 6 はこの発明の実施例 2 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の光位相変調手段における入力電圧と変調位相の関係を示す特性図、

図 7 はこの発明の実施例 3 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置において、素子アンテナのビーム走査方向変更前と変更後のビームの伝搬を示す模式

図、

図 8 はこの発明の実施例 3 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置において、連続的な平面からビームを放射すると仮定したときのビーム走査方向変更前と変更後のビームの伝搬を示す模式図、

図 9 はこの発明の実施例 4 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の構成を示すブロック図、

図 10 は図 2 の実験系を用いてバランス型受信手段による相対強度雑音抑圧測定時の出力スペクトルを示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明の各実施例について図面に基づき説明する。

実施例 1.

この発明の実施例 1 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置について図面を参照しながら説明する。図 1 は、この発明の実施例 1 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の構成を示すブロック図である。なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

図 1 において、本装置は、単一波長の光を発生してかつ、発生光を光ファイバにより出力するレーザ発生手段 1 と、このレーザ発生手段 1 による出力光を伝送するための光ファイバ型伝送手段（太線の箇所） 2 と、この光ファイバ型伝送手段 2 による伝送光を分岐し、かつ分岐比を自由に変更することが可能な光路分岐手段 3 と、単一周波数で発振する高周波信号発生手段 4 と、この高周波信号発生手段 4 によって入力される高周波信号の周波数だけ伝送光の周波数をシフトして出力する光周波数変調手段 5 と、光ファイバ型伝送手段 2 から光ファイバ外の伝送手段に変更するための伝送ビーム径変換手段 6 a 及び 6 b と、光ファイバ型伝送手段 2 による伝送光に対して一括してアンテナビームパターンに応じた空間的な位相変調を行う空間光位相変調手段 7 と、空間伝送路による伝送光を分岐、または合波することが可能な光路分岐・合波手段 8 と、空間伝送による伝送光を光

ファイバ型伝送に変換し、かつ伝送光を複数に分割する開口分割集光手段 9 と、光ファイバ型伝送手段 2 の伝送光の光強度を電気信号に変換し、かつ所望の電圧レベルまで増幅する光電変換手段 10 a、10 b～10 n と、光電変換手段 10 a～10 n の出力部に接続された給電線 11 a、11 b～11 n と、給電線 11 a～11 n のそれぞれ他端に接続された素子アンテナ 12 a、12 b～12 n とを備える。

また、光路分岐手段 3 から光路分岐・合波手段 8 までの 2 分岐した伝送光の光路長を等しくした。

なお、伝送ビーム径変換手段 6 a 及び 6 b と開口分割集光手段 9 の間は、空間伝送路である（2 本の細線の箇所）。

つぎに、この実施例 1 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の動作について図面を参照しながら説明する。

まず、レーザ発生手段 1 によりレーザ光が出力され、光ファイバ型伝送手段 2 を介して伝達し、光路分岐手段 3 によって伝送光は 2 経路に分岐される。ここで 2 経路に分岐された伝送光の周波数を f_c とする。

光路分岐手段 3 で分岐された一方の伝送光（信号光）は、高周波信号発生手段 4、光周波数変調手段 5 を介し、高周波信号発生手段 4 による発振周波数 f_{RF} だけシフトした信号（周波数 $f_c + f_{RF}$ ）となる。さらに、伝送ビーム径変換手段 6 a によって光ファイバ型伝送手段 2 から光ファイバ外の伝送手段（この例では、空間伝送路）への変更を行い、空間光位相変調手段 7 によって所望のアンテナパターンに応じた空間的な位相変調を行う。

一方、光路分岐手段 3 で分岐されたもう一方の伝送光（ローカル光）は、伝送ビーム径変換手段 6 b を介して光ファイバ型伝送手段 2 から光ファイバ外の伝送手段（この例では、空間伝送路）へ変更される。

これらの信号光及びローカル光を光路分岐・合波手段 8 によって合波し、開口分割集光手段 9 によって再び光ファイバ型伝送に変換し、さらに合波された伝送光を複数に分割する。複数に分割された伝送光は、 n （自然数）個の光電変換手段 10 a～10 n によって電気信号に変換され、かつ所望の電圧レベルまで増幅

される。光電変換手段 10a～10n に信号光とローカル光の周波数差分を出力するような検知器を用いると、出力される信号は $(f_c + f_{RF}) - f_c = f_{RF}$ となり、伝送光の周波数 f_c を排除できる。周波数 f_{RF} の無線信号は、n 本の給電線 11a～11n を介して各素子アンテナ 12a～12n に給電される。

図 1 の構成において、光路分岐手段 3 によって分岐され、光路分岐・合波手段 8 によって合波されるまでの光ファイバ内伝送手段及び光ファイバ外伝送手段（空間伝送路）を含む、信号光とローカル光の 2 つの経路の光路長をそれぞれ L_1 及び L_2 とする。

ここで、 $|L_1 - L_2| = \Delta L$ 、 $\tau = n \Delta L / c$ （ここでの n は伝送路媒質の屈折率、 c は光速）とすると、 τ と検知器からの出力信号スペクトル $S_d(f)$ との関係は以下の式 (1) のようになる（参考文献：大越、菊池共著、「コヒーレント光通信工学」、pp 90～94）。なお、 δf は光源（レーザ発生手段 1）の線幅とする。

$$\begin{aligned}
 S_d(f) = & \exp(-2\pi\delta f\tau)\delta(f) \\
 & + \frac{\delta f}{\pi\{f^2 + (\delta f)^2\}} \{1 - \exp(-2\pi\delta f\tau)\} \\
 & \times (\cos 2\pi f\tau - \frac{f}{2\delta f} \sin 2\pi f\tau) \\
 & - \frac{1}{2\pi^2 f} \exp(-2\pi\delta f\tau) \sin 2\pi f\tau
 \end{aligned} \quad (1)$$

式 (1) において、 ΔL を 0 に近付けると式 (1) の第 1 項（信号スペクトル成分）が第 2 項以降（雑音スペクトル成分）に対して支配的になり、測定される出力スペクトルは鋭いピークとなる。例えば、 $\delta f = 3.2 \text{ MHz}$ 、オフセット周波数 $f = 2 \text{ MHz}$ とおくと、 $\Delta L = 1 \mu\text{m}$ にまでファイバ長を合わせれば、 $S_d(f)$ における SNR（式 (1) の第 1 項と第 2 項以降との比）として 142 dB を得ることが可能となる。

また、図 2 のような実験系を構築し、位相雑音抑圧測定を行った。

図2において、本実験系は、半導体レーザ(LD)101と、偏波面保存光ファイバ102と、光コネクタ(FC-PC)103と、光アイソレータ104と、3dBカプラ105と、光アッテネータ106と、光コネクタ(FC-Angled PC)107a~107cと、音響光学変調器(AOM)108と、可変カプラ109と、2つのフォトダイオード(PD₁及びPD₂)を有するバランス型受信手段(BR: Balanced Receiver)110と、伝送線路111と、電気スペクトラムアナライザ112とを備える。

次に、実験系の動作について説明する。半導体レーザ(LD)101からの出力光を、3dBカプラ105を用いて2つに分岐する。一方の伝送光はヘテロダイン検波方式におけるローカル光として使用し、光アッテネータ106で減衰後、可変カプラ109に入射させる。もう一方の伝送光はヘテロダイン検波方式における信号光として使用するため、音響光学変調器(AOM)108を用いて50MHzの周波数変調を行った後、可変カプラ109に入射させる。

さらに、可変カプラ109でローカル光と信号光を合波した後の2つの出力光を光電変換器であるバランス型受信手段(BR)110に入射し、その出力信号のスペクトルを、電気スペクトラムアナライザ112を用いて測定した。ここで、3dBカプラ105から光アッテネータ106を通り、可変カプラ109を経てバランス型受信手段(BR)110に入射されるまでの光路長を L_{local} 、3dBカプラ105のもう一方の出力ポートから音響光学変調器(AOM)108を通り、可変カプラ109を経てバランス型受信手段(BR)110に入射されるまでの光路長を L_{signal} とする。測定では2つの光路長が $L_{local} = L_{signal}$ となるようにファイバ長を調整して出力スペクトルを測定した。

光路長の調整前と調整後の出力スペクトルの測定結果を図3に示す。図3から2MHzオフセット時SNRは、1HzあたりのSNRに換算して、光路長調整前の92dB/Hzに対し、光路長調整後は120dB/Hzを得た。この結果から、2つの光路長を等しくすることより位相雑音抑圧が可能であることが実証された。

また、本実施例では図1に示しているように光路分岐手段3を用いているので

、単一光源による位相雑音抑圧が可能となる。

以上のように、光制御型 P A A 装置において、ヘテロダイン検波を行うために 2 分岐した伝送光の光路長を等しくした構成では、単一光源で光源自体の位相雑音抑圧が可能である、という利点を有する。

なお、本実施例では光伝送手段として光ファイバを用いている箇所があるが、本発明では伝送手段については特に限定はしない。

実施例 2 .

この発明の実施例 2 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置について図面を参照しながら説明する。図 4 は、この発明の実施例 2 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の構成を示すブロック図である。

上記の実施例 1 は、光制御型 P A A 装置において、ヘテロダイン検波を行うために 2 分岐した伝送光の 2 つの光路長を等しくすることで、単一光源による位相雑音抑圧化を図ったが、伝送手段として空間伝送路を用いた場合、空間の温度変動等の擾乱により大気屈折率が変化し、光路長が変化するため新たな位相ゆらぎが生じてしまう。この問題を解決する方策として、この実施例 2 では、P L L (Phase Locked Loop) を用いて位相雑音抑圧化を図ったものである。

図 4 において、図 1 と同一の部分には共通の符号を付し、その箇所についての説明は省略する。

本装置は、光電変換手段 1 0 a ~ 1 0 n と同じく光ファイバ型伝送手段 2 の伝送光の光強度を電気信号に変換し、かつ所望の電圧レベルまで増幅する光電変換手段 1 0 A と、伝送光の位相を制御することが可能な光位相変調手段 1 3 と、伝送光の伝達の際生じた位相誤差を検出する位相誤差検出手段 1 4 と、所望の電圧レベルに設定するための電圧変換手段 1 5 とをさらに備える。

つぎに、この実施例 2 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の動作について図面を参照しながら説明する。

上記の実施例 1 と異なる動作について説明する。まず、光路分岐手段 3 によって分岐したローカル光の伝送路において、光路分岐手段 3 と伝送ビーム径変換手段 6 b の間に光位相変調手段 1 3 を挿入する。なお、この光位相変調手段 1 3 を信号光の伝送路に挿入してもよい。

また、光路分岐・合波手段 8 によって合波した伝送光を 2 経路に分岐し、一方は図 1 と同様に開口分割集光手段 9 へ供給し、もう一方は光電変換手段 1 0 A によって電気信号に変換する。

変換された電気信号は位相誤差検出手段 1 4 へ供給され、位相誤差検出手段 1 4 は、高周波信号発生手段 4 で発生する電気信号と光電変換手段 1 0 A からの電気信号との位相差を検出する。

さらに、位相誤差検出手段 1 4 では、検出した位相差を例えば図 5 のような位相差に比例した電圧信号に変換し出力する。ここで、高周波信号発生手段 4 で発生する電気信号の位相を ϕ_s 、光電変換手段 1 0 A からの電気信号の位相を ϕ_i 、位相誤差検出手段 1 4 の出力電圧を V_{OUT} とし、 $\phi_i - \phi_s = \Delta\phi$ における位相誤差検出手段 1 4 の出力電圧を ΔV_1 とした。なお、位相差と出力電圧の特性については理解を容易にするため比例関係としているが、特性が既知であれば限定はしない。

その後、位相誤差検出手段 1 4 からの出力電圧は、電圧変換手段 1 5 を経て光位相変調手段 1 3 へ供給され、例えば図 6 のような入力電圧に比例した位相に変調される。ここで、入力電圧を V_{IN} 、変調位相を ϕ_v とし、電圧 ΔV_2 の信号が光位相変調手段 1 3 に入力したときの変調位相を $\Delta\phi_v$ とする。なお、入力電圧と変調位相の特性については理解を容易にするため比例関係としているが、特性が既知であれば限定はしない。このとき、 $\Delta\phi = \Delta\phi_v$ となるように電圧信号を ΔV_1 から ΔV_2 へ変換する電圧変換手段 1 5 を挿入しておく。これにより、高周波信号発生手段 4 で発生する電気信号と合波光を光電変換した電気信号との位相差を小さくするような負帰還回路が形成され、位相ゆらぎにより発生する位相雑音抑圧が可能となる。

以上のように、本実施例では空間の温度変動等の擾乱により生じる位相雑音の抑圧が可能となる、という利点を有する。

なお、本実施例では光伝送手段として光ファイバを用いている箇所があるが、本発明では伝送手段については特に限定はしない。

実施例 3.

この発明の実施例 3 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置について図面を参照しながら説明する。

図 4 に示す空間光位相変調手段 7 では、素子アンテナ $12a \sim 12n$ から出射するビーム走査方向を変更することが可能である。しかし、その際にも光路長差による位相ずれが生じる。実施例 2 と同様の PLL を用いた方式ではこのビーム方向変更により発生する位相差の補正も可能である。以下、この原理について説明する。

ここで、空間光位相変調手段 7 のパターン変更による位相変動は、素子アンテナより放射されるビームの走査方向変更による位相変動と同一と考えることにし、以下、素子アンテナより放射されるビームの走査方向変更時の位相変動について考察する。

素子アンテナの配置面を、ビーム走査方向の方位角方向及び仰角方向とで考え、各々独立に考察できるので、ここではビーム走査方向の方位角方向についてのみ考える。

図 7 に方位角方向での素子アンテナの配置を示す。ここで、素子アンテナの間隔を d 、素子アンテナの個数を N とする。このとき、素子アンテナから放射されるビームの方位角方向が図 7 (b) のように角度 θ 変更したとすると、 k ($k = 1, 2, \dots, N-1$) 番目と $k+1$ 番目の素子アンテナの方位角方向における光路長差 Δl (注: l はエルです。) は次式のように与えられる。

$$\Delta l = d \sin \theta \quad (2)$$

ここで、素子アンテナが離散的に配置されるのではなく、一般性を持たせるために長さ $d \times N$ の連続的な平面からビームが放射されているとする。ここでも上述のようにビームの方位角方向及び仰角方向は各々独立に考察してよいので、方位角方向について考える。

図 8 のように座標軸を設定し、位置 j をビーム走査時の回転中心軸とする。また、信号光の強度は方位角方向上で一様に伝搬しているとする。このときビーム走査方向 θ 変更時の位置 j に対する放射面上での光路長差は次式で与えられる。

$$\left| \int_{-Nd/2}^{Nd/2} \{(x-j)\sin\theta\} dx \right| = jNd\sin\theta \quad (3)$$

よって、光路長差が最小となるためには位置 0（ビーム放射面の中心）をビーム走査時の回転中心軸とすればよい。また、式（3）の光路長差により生じる位相差は PLL を用いて補正することができる。

以上のように、本実施例では図 4 の空間光位相変調手段 7 においてアンテナパターンを変更した際に生じる位相雑音の抑圧が可能となる、という利点を有する。

なお、本実施例では光伝送手段として光ファイバを用いている箇所があるが、本発明では伝送手段については特に限定はしない。

実施例 4.

この発明の実施例 4 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置について図面を参照しながら説明する。図 9 は、この発明の実施例 4 に係る光制御型フェーズドアレーアンテナ装置の構成を示すブロック図である。

上記の実施例 1 ～ 3 は、それぞれ光源自体の位相雑音抑圧化、及び空間の擾乱、アンテナパターン変更により生じる位相雑音の抑圧化を図った方式である。さらに、ヘテロダイン検波における受信時の SNR 劣化原因として光源自体の相対強度雑音が考えられる。この問題を解決する方策として、この実施例 4 では、光電変換手段 10a ～ 10n にバランス型受信手段（BR : Balanced Receiver）を用いて、光源の相対強度雑音抑圧化を図ったものである。

図 9 において、図 1 及び図 4 と同一の部分には共通の符号を付し、その箇所についての説明は省略する。

本装置は、光ファイバ型伝送手段 2 による伝送光を 2 分岐する光路分岐手段 1

6 a ～ 1 6 n と、バランス型受信手段（BR） 1 7 a ～ 1 7 n とをさらに備える。

次に、バランス型受信手段（BR）を用いた相対強度雑音抑圧化の原理について説明する。

ヘテロダイン検波における信号光及びローカル光の瞬時電界は次式で表される。

$$S(t) = \sqrt{2P_s} \{1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)\} e^{j(\omega_s t + \phi_s)} \quad (4)$$

$$L(t) = \sqrt{2P_L} \{1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L)\} e^{j(\omega_L t + \phi_L)} \quad (5)$$

ここで P_s 、 P_L は信号光及びローカル光の電力、 ω_s 、 ω_L は信号光及びローカル光の角周波数、 ϕ_s 、 ϕ_L は信号光及びローカル光の位相である。また、信号光及びローカル光はそれぞれ角周波数 Ω_s 、 Ω_L 、変調度 m_s 、 m_L 、位相 θ_s 、 θ_L で表される相対強度雑音を有するものとする。バランス型受信手段（BR）の前に挿入した光路分岐手段の電力分岐比を ε 、信号光の伝搬定数を β_s 、ローカル光の伝搬定数を β_L 、光路分岐手段の通過後の出射光の伝搬定数を β_N とすれば、バランス型受信手段（BR）内部に設置されたフォトダイオード PD_1 及び PD_2 に入射する光電界 $E_1(t)$ 、 $E_2(t)$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$E_1(t) = \sqrt{\varepsilon} S(t) + \sqrt{(1-\varepsilon)} L(t) e^{j\pi/2} \quad (6)$$

$$E_2(t) = \{\sqrt{(1-\varepsilon)} S(t) e^{j\beta_s \Delta z} e^{j\pi/2} + \sqrt{\varepsilon} L(t) e^{j\beta_L \Delta z}\} e^{j\beta_N \Delta z} \quad (7)$$

ここで、フォトダイオード PD_2 に入射する光路長が Δz だけ長いと仮定している。これらの光電界がフォトダイオード PD_1 及び PD_2 に入射したとき生成される光電流 $I_1(t)$ 、 $I_2(t)$ は、それぞれ次式で与えられる。

$$\begin{aligned} I_1(t) = (\eta_1 e / h\nu) \times \\ \{ \varepsilon P_s [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] + (1-\varepsilon) P_L [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L)] \\ + 2\sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon)} P_s P_L [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L)] \sin[(\omega_s - \omega_L)t + \phi_s - \phi_L] \} \\ + n_1(t) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} I_2(t) = (\eta_2 e / h\nu) \times \\ \{ (1-\varepsilon) P_s [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] + \varepsilon P_L [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L + \beta_N \Delta z)] \\ + 2\sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon)} P_s P_L [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L + \beta_N \Delta z)] \sin[(\omega_s - \omega_L)t + \phi_s - \phi_L + (\beta_s - \beta_L) \Delta z] \} \\ + n_2(t) \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 $n_1(t)$ 、 $n_2(t)$ はショット雑音と熱雑音の合計を表す。また、

η_1 、 η_2 はフォトダイオードPD₁及びPD₂の量子効率、 e は電子チャージ、 h はプランク定数である。

2つのフォトダイオードPD₁及びPD₂の差動出力を次式のように表わす。

$$I_1(t) - I_2(t) = I_{DC}(t) + I_{IF}(t) \quad (10)$$

ここで、 $I_{DC}(t)$ は光電流の直流(DC)成分、 $I_{IF}(t)$ は中間周波成分である。このとき、 $I_{DC}(t)$ は次式のようになる。

$$\begin{aligned} I_{DC}(t) = & (e/h\nu) \{ \eta_1 \varepsilon P_s [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] - \eta_2 (1 - \varepsilon) P_s [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] \\ & + \eta_1 (1 - \varepsilon) P_L [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L)] - \eta_2 \varepsilon P_L [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L + \beta_N \Delta z)] \} \end{aligned} \quad (11)$$

全てのパラメータにばらつきがない場合、すなわち、量子効率が $\eta_1 = \eta_2 = \eta$ 、電力分岐比が $\varepsilon = 0.5$ 、 $\Delta z = 0$ とした場合を考える。このとき、 $I_{DC}(t)$ のうち時間変動成分を相対強度雑音成分と考え $I_N(t)$ と表すと、次式のようになり、相対強度雑音は完全に打ち消される。

$$\begin{aligned} I_N(t) = & (e/h\nu) \{ 0.5 \eta P_s [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] - 0.5 \eta P_s [1 + m_s \cos(\Omega_s t + \theta_s)] \\ & + 0.5 \eta P_L [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L)] - 0.5 \eta P_L [1 + m_L \cos(\Omega_L t + \theta_L)] \} \\ = & 0 \end{aligned} \quad (12)$$

また、上記実施例1で示した図2の実験系を用いてバランス型受信手段(BR)による相対強度雑音抑圧測定を行った。

図10(a)、(b)に出力スペクトルを示す。図10(a)は可変カップラ109からバランス型受信手段(BR)110までの2経路の光路長が異なるときの分岐比調整前後の出力スペクトルである。また、図10(b)は可変カップラ109からバランス型受信手段(BR)110までの2経路の光路長を同一としたときの分岐比調整前後の出力スペクトルである。図10(a)、(b)から光路長が異なるときの分岐比調整($\varepsilon = 0.5$)によるSNR増加が約7dBとなるのに対し、光路長を同一としたときの分岐比調整($\varepsilon = 0.5$)によるSNR増加が約39dBとなり、電力分岐比を $\varepsilon = 0.5$ とすることと、光路長を同一にすることを同時に行うことにより大幅に相対強度雑音を抑圧できることが実証できた。

よって、光電変換手段にバランス型受信手段（BR）を用いた構成は、バランス型受信手段（BR）に投入される2つの入射光の電力を同一にし、かつ分岐後からフォトダイオード PD_1 及び PD_2 に入射されるまでの2つの入射光の光路長を同一にすることにより、光源の相対強度雑音抑圧が可能である、という利点を有する。

なお、本実施例では光伝送手段として光ファイバを用いている箇所があるが、本発明では伝送手段については特に限定はしない。

産業上の利用の可能性

この発明に係る光制御型フェーズドアレイアンテナ装置は、以上説明したとおり、光路分岐手段と光路分岐・合波手段の間の信号光とローカル光の2つの経路の光路長を等しくすることにより、光源自身の位相ゆらぎにより発生する位相雑音の抑圧が可能で、光源の線幅に対する要求が大幅に緩和できる。従って、レーダ装置などの無線応用装置に適用できる。

請 求 の 範 囲

1. 単一波長光を発生するレーザ発生手段と、

前記レーザ発生手段からの出射光を第1及び第2の伝送光に分岐する光路分岐手段と、

高周波信号を発生する高周波信号発生手段と、

前記光路分岐手段により分岐された第1の伝送光の周波数を前記発生された高周波信号の周波数だけシフトする光周波数変調手段と、

前記高周波信号の周波数だけシフトされた第1の伝送光に対してアンテナビームパターンに応じた空間的な位相変調を行う空間光位相変調手段と、

前記位相変調された第1の伝送光と前記光路分岐手段により分岐された第2の伝送光を合波する光路分岐・合波手段と、

前記光路分岐・合波手段により合波された伝送光を複数に分割する開口分割集光手段と、

前記複数の伝送光の光強度を、それぞれ電気信号に変換する複数の光電変換手段と、

前記複数の光電変換手段からの電気信号を、それぞれビームとして放射する複数の素子アンテナとを備え、

前記光路分岐手段と前記光路分岐・合波手段の間の2つの経路の光路長を等しくした光制御型フェーズドアレーアンテナ装置。

2. 前記光路分岐・合波手段により合波された伝送光が分岐された伝送光の光強度を電気信号に変換する第2の光電変換手段と、

前記高周波信号発生手段により発生された電気信号と前記第2の光電変換手段からの電気信号の位相差を検出する位相誤差検出手段と、

前記位相誤差検出手段により検出された位相差に基づいて前記光路分岐手段により分岐された第1又は第2の伝送光の位相を変調する光位相変調手段と

をさらに備えた請求項1記載の光制御型フェーズドアレーアンテナ装置。

3. 前記位相誤差検出手段からの検出位相差に応じた第1の電圧信号を第2の電圧信号へ変換する電圧変換手段をさらに備え、

前記光位相変調手段は、前記第2の電圧信号に応じて前記光路分岐手段により分岐された第1又は第2の伝送光の位相を変調する

請求項2記載の光制御型フェーズドアレーアンテナ装置。

4. 単一波長光を発生するレーザ発生手段と、

前記レーザ発生手段からの出射光を第1及び第2の伝送光に分岐する光路分岐手段と、

高周波信号を発生する高周波信号発生手段と、

前記光路分岐手段により分岐された第1の伝送光の周波数を前記発生された高周波信号の周波数だけシフトする光周波数変調手段と、

前記高周波信号の周波数だけシフトされた第1の伝送光に対してアンテナビームパターンに応じた空間的な位相変調を行う空間光位相変調手段と、

前記位相変調された第1の伝送光と前記光路分岐手段により分岐された第2の伝送光を合波する光路分岐・合波手段と、

前記光路分岐・合波手段により合波された伝送光を複数に分割する開口分割集光手段と、

前記開口分割集光手段により分割された複数の伝送光を、それぞれ2分岐する複数の第2の光路分岐手段と、

前記2分岐された伝送光毎に、複数の分岐伝送光の光強度を、それぞれ電気信号に変換する複数のバランス型受信手段と、

前記複数のバランス型受信手段からの電気信号を、それぞれビームとして放射する複数の素子アンテナと、

前記光路分岐・合波手段により合波された伝送光が分岐された伝送光の光強度を電気信号に変換する光電変換手段と、

前記高周波信号発生手段により発生された電気信号と前記光電変換手段からの電気信号の位相差を検出する位相誤差検出手段と、

前記位相誤差検出手段により検出された位相差に基づいて前記光路分岐手段に

より分岐された第 1 又は第 2 の伝送光の位相を変調する光位相変調手段とを備え、
前記光路分岐手段と前記光路分岐・合波手段の間の 2 つの経路の光路長を等しくした光制御型フェーズドアレーアンテナ装置。

図 1

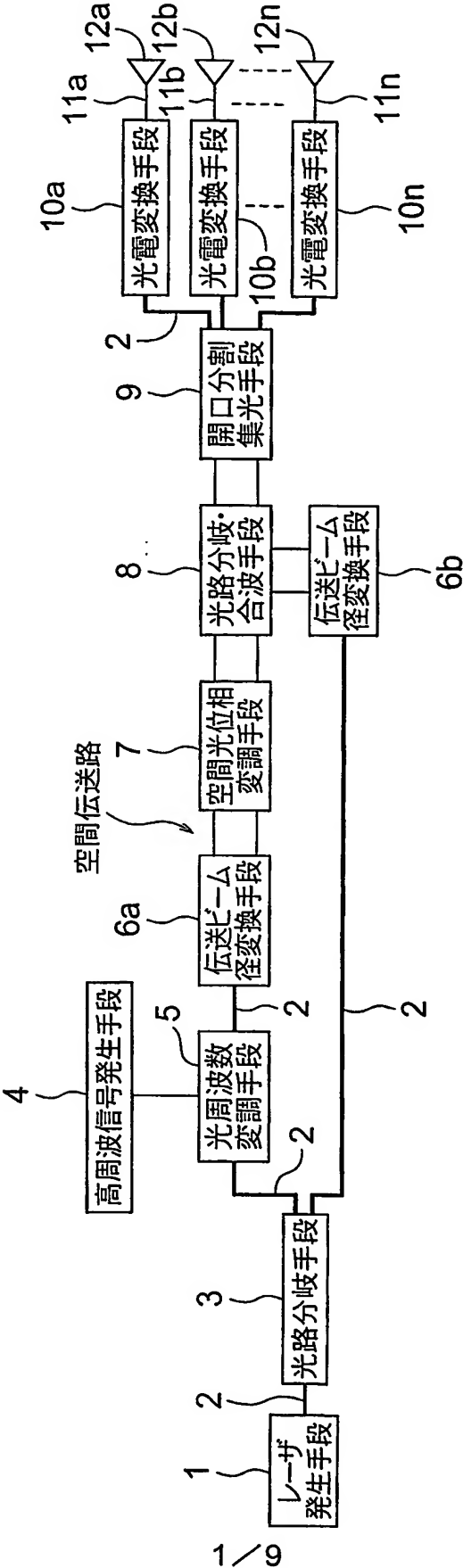


図 2

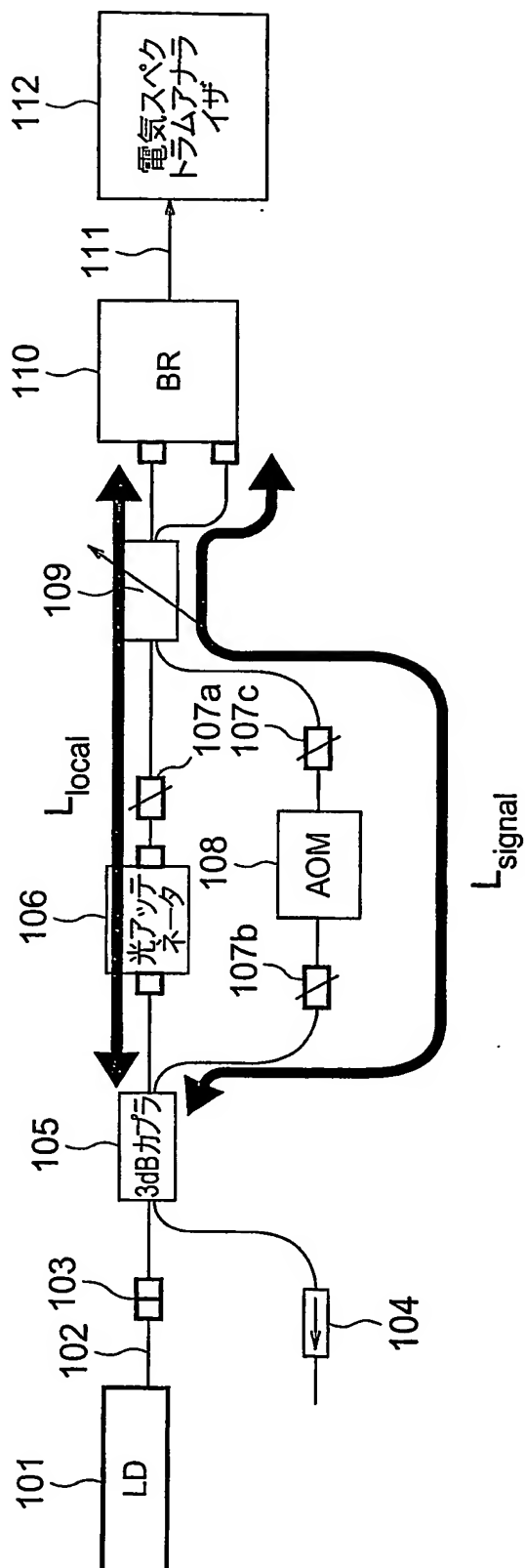


図 3

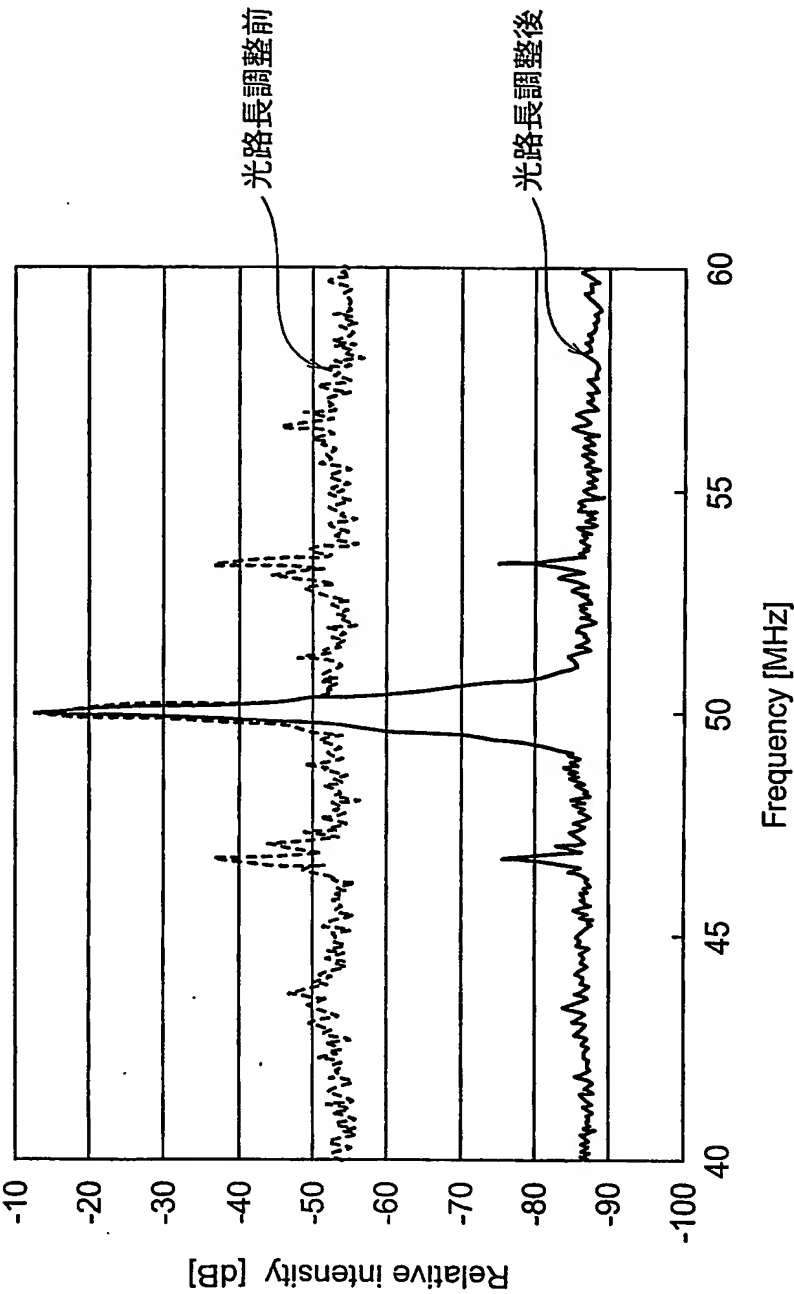


図 4

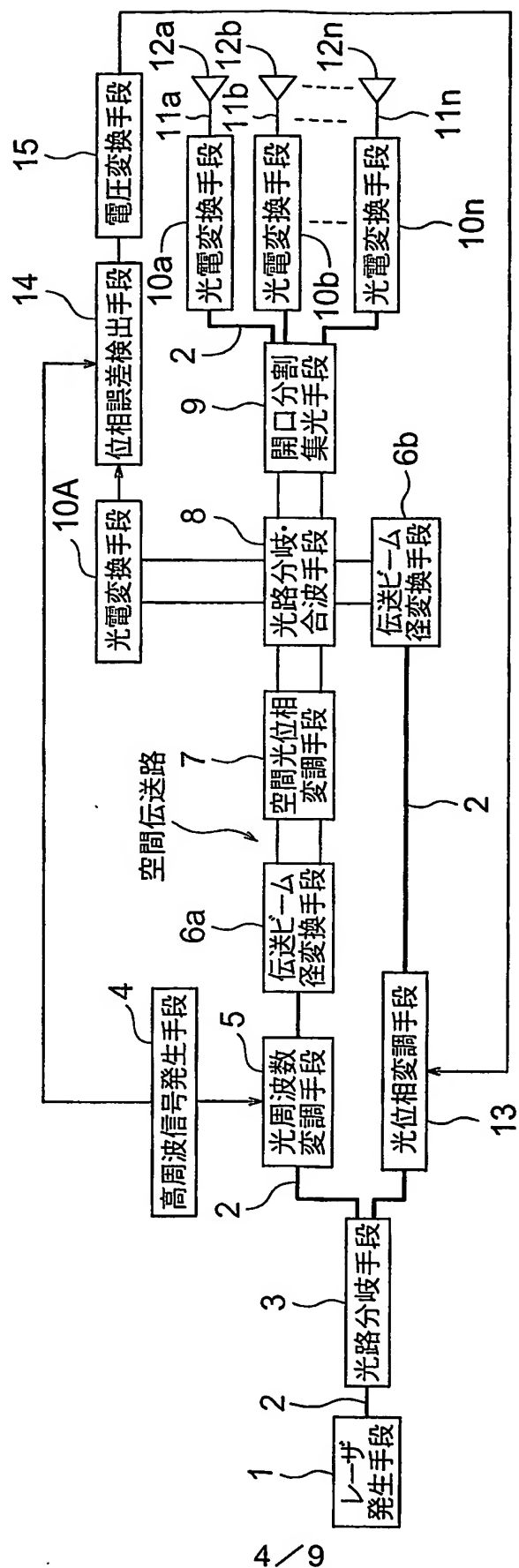


図 5

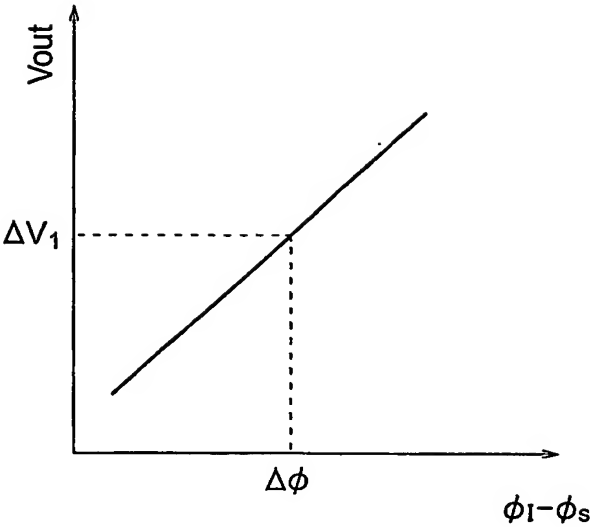


図 6

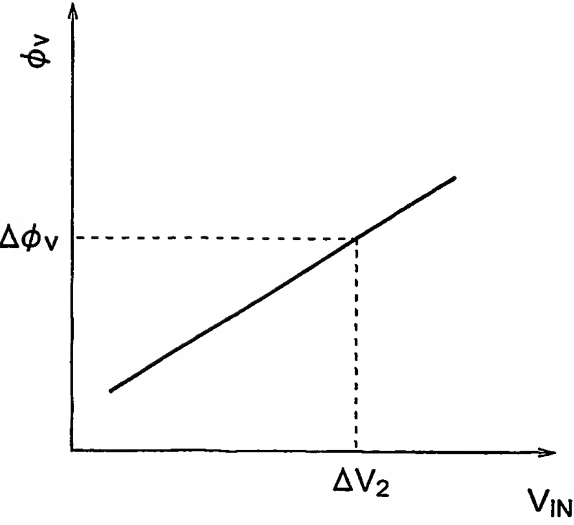
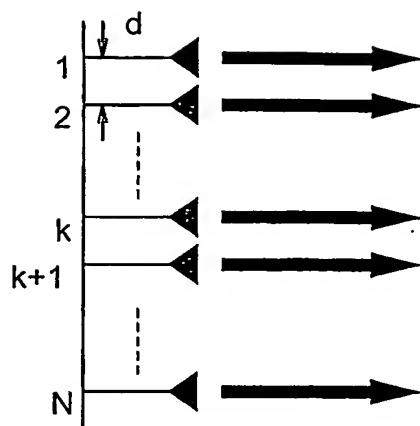


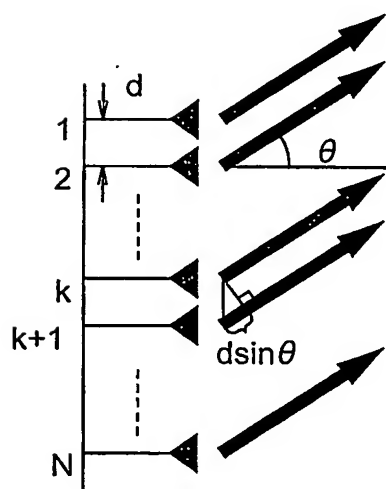
図 7

(a)



ビーム走査方向変更前

(b)



ビーム走査方向変更後

図 8

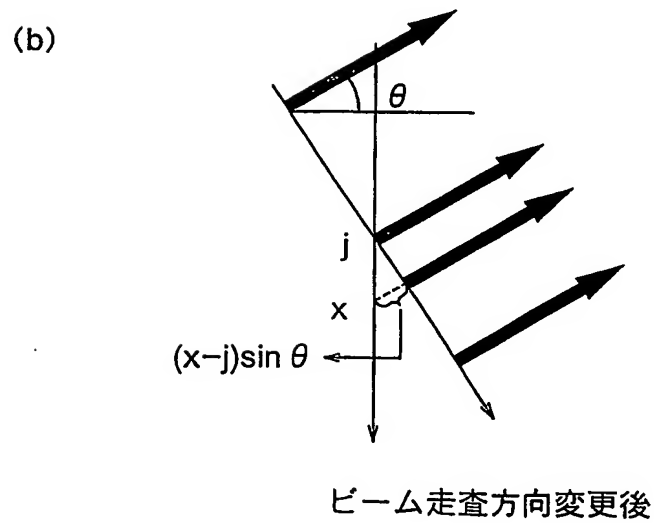
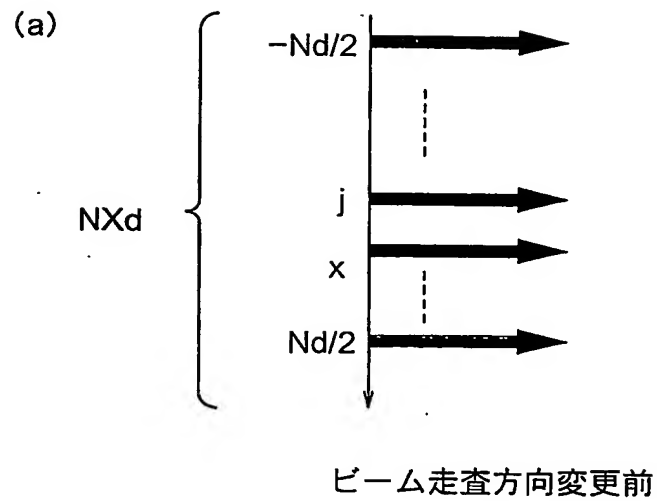


図 9

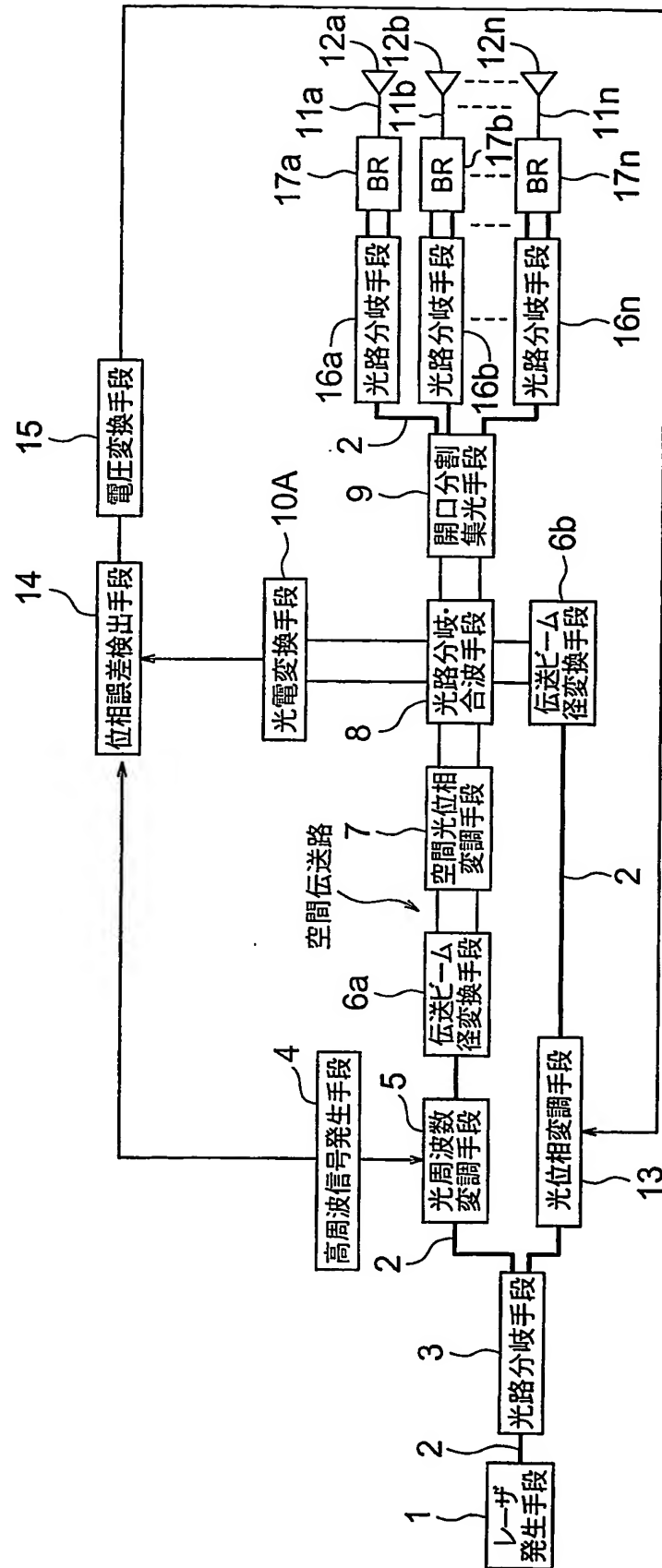
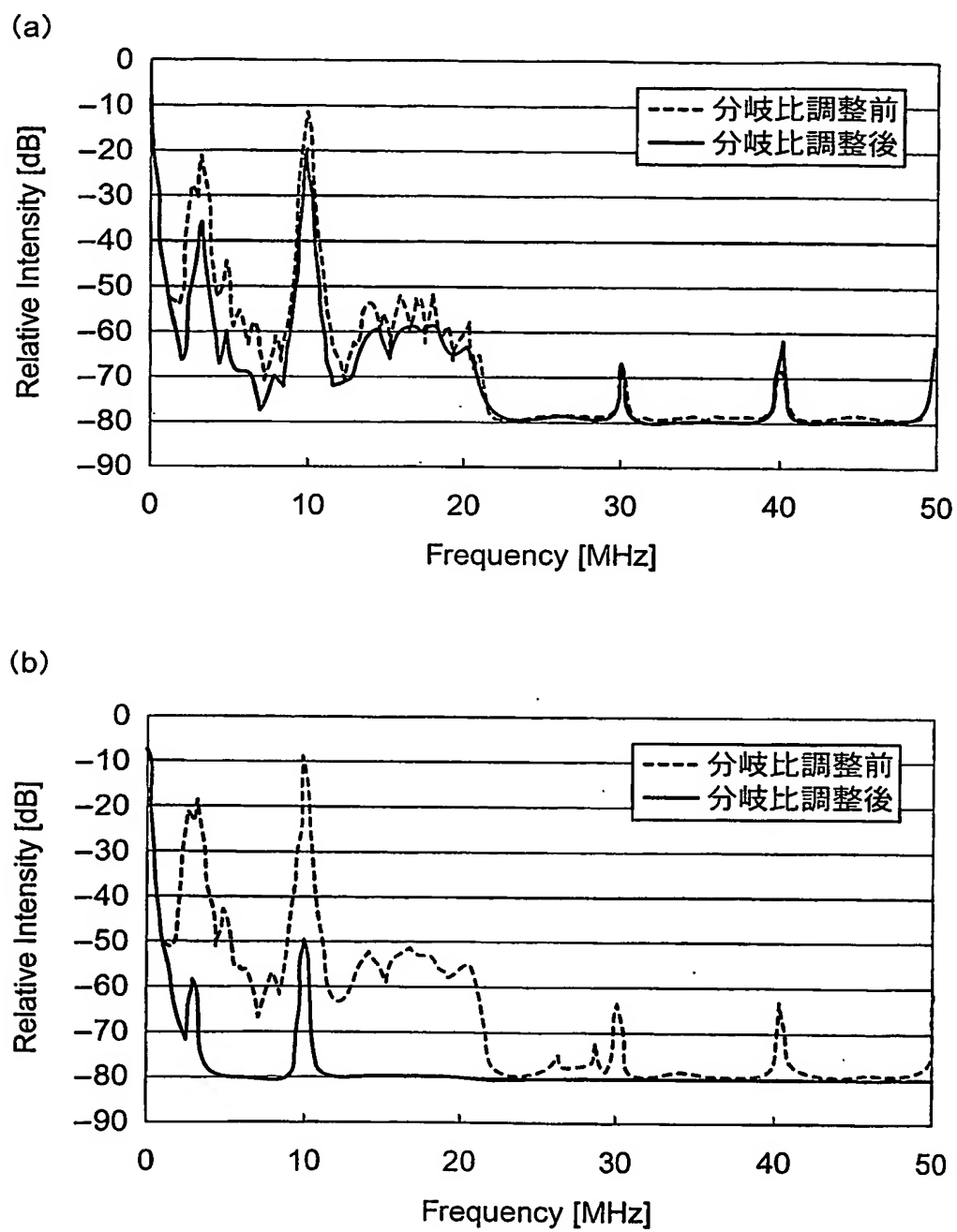


図 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/06761

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H03G3/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁷ H03G3/26Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-208813 A (ATR Adaptive Communications Research Laboratories), 26 July, 2002 (26.07.02), (Family: none)	1-4
A	JP 9-307336 A (ATR Optical and Radio Communications), 28 November, 1997 (28.11.97), (Family: none)	1-4
A	JP 3-57305 A (ATR Optical and Radio Communications), 26 March, 1991 (26.03.91), (Family: none)	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
30 September, 2003 (30.09.03)Date of mailing of the international search report
14 October, 2003 (14.10.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl⁷ H03G 3/26

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl⁷ H03G 3/26

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-208813 A (株式会社エイ・ティ・アール 環境適応通信研究所) 2002. 07. 26 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 9-307336 A (株式会社エイ・ティ・アール光電波 通信研究所) 1997. 11. 28 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 3-57305 A (株式会社エイ・ティ・アール光電波通 信研究所) 1991. 03. 26 (ファミリーなし)	1-4

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30. 09. 03

国際調査報告の発送日

14.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

緒方 寿彦



5 T

8321

電話番号 03-3581-1101 内線 3526